

APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE
ENTRADA NO MODELO MATEMÁTICO HEC-
RAS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS DE
INUNDAÇÃO NO CAMPUS REITOR JOÃO
DAVID FERREIRA LIMA (UFSC)

Bruna Toscano

Florianópolis, 2018



Bruna Toscano

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE ENTRADA NO
MODELO MATEMÁTICO HEC-RAS PARA O MAPEAMENTO
DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO CAMPUS REITOR JOÃO
DAVID FERREIRA LIMA (UFSC)**

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientador: Prof.^a Dr.^a Patrícia Kazue
Uda

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Toscano, Bruna

APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE ENTRADA NO
MODELO MATEMÁTICO HEC-RAS PARA O MAPEAMENTO DE
ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO CAMPUS REITOR JOÃO DAVID
FERREIRA LIMA (UFSC) / Bruna Toscano ;
orientadora, Patricia Kazue Uda, 2018.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.
Modelagem Hidráulica. 3. HEC-RAS. 4. Mapa de
Inundação. I. Kazue Uda, Patricia. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental. III. Título.

Bruna Toscano

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DE ENTRADA NO
MODELO MATEMÁTICO HEC-RAS PARA O MAPEAMENTO
DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NO CAMPUS REITOR JOÃO
DAVID FERREIRA LIMA (UFSC)**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

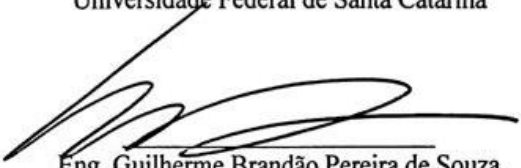
Florianópolis, 27 de junho de 2018.


Prof.ª Patrícia Kazue Uda, Dr.ª
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:


Prof.ª Nadia Bernardi Bonumá, Dr.ª
Universidade Federal de Santa Catarina


Eng. Guilherme Brandão Pereira de Souza
Empresa GeoEnergy Engenharia e Serviços Ltda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer meus pais, Sadi e Olirides, por estarem sempre presentes e possibilitarem a realização desse sonho. Obrigada por todo amor, pela minha educação e por apoiarem minhas escolhas. Vocês são os melhores exemplos de pessoas que eu poderia ter.

Agradeço ao meu irmão Tiago e à Mariana, que estiveram ao meu lado nessa jornada, e em todas as outras, sempre com bons conselhos e torcendo por mim. Agradeço, também, à toda minha família pelo apoio nessa fase importante.

Em especial, gostaria de agradecer ao Juliano, por todo incentivo, pelas boas críticas, que contribuíram para a realização desse trabalho, pela companhia e por compartilhar a felicidade das minhas vitórias.

Agradeço à minha orientadora Patricia, pela amizade, por todo conhecimento compartilhado e pela sábia orientação científica.

Ao Daniel e ao Guilherme, que guiaram os primeiros passos da minha vida profissional. Obrigada por todo ensinamento, pelas experiências e pela paciência.

Agradeço à UFSC, pela sua excelência e por ter sido minha casa nesses 6 anos, e, também, aos seus docentes, especialmente aos do ENS. Obrigada por todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal.

À Turma 12.2, que tenho o imenso prazer de fazer parte, me faltam palavras. Obrigada por serem minha família de Floripa, pelas horas compartilhadas, pelas experiências, pela amizade e pelo apoio. Jamais conseguirei retribuir todo amor que recebi.

Aos amigos de Flores, meus mais sinceros agradecimentos por estarem tão presentes nesses 6 anos, apesar da distância.

Agradeço, também, ao PRAD pela cedência de dados e prestatividade.

RESUMO

A ocupação urbana de uma área representa grandes transformações nas suas características naturais. Impermeabilização do solo, retirada da vegetação, alteração do relevo e da hidrografia são as primeiras mudanças decorrentes da urbanização de uma região e, raramente, vêm acompanhadas de uma infraestrutura adequada. Por tais motivos, é comum haver inundações em áreas urbanas e, definir os locais de risco é essencial para segurança da população, assim como, prevenir desastres e custos financeiros. O presente trabalho teve como objetivo aplicar e analisar a qualidade dos dados de entrada no *software* HEC-RAS para mapeamento das áreas de inundação do Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC), localizado na cidade de Florianópolis (SC). Observou-se que, os dados de topografia disponibilizados pela SDS, em escala 1:10.000, não são representativos para criar manchas de inundação, uma vez que, os níveis de água variam em escala centimétrica e, o Modelo Digital de Terreno (MDT), possui erros de até 3 metros. Os dados de vazão não variam de maneira coerente antes e depois do extravasamento do canal, demonstrando um possível equívoco da curva-chave na seção do exutório. A calibração do modelo foi realizada pelo coeficiente de rugosidade de Manning apenas para dentro o canal, resultando em 0,032 e, em suas margens, foi adotado o valor de 0,05. Os resultados demonstraram a baixa confiabilidade dos dados, assim como, a falta de dados necessários para uma boa calibração do modelo matemático.

Palavras-chave: Modelagem Hidráulica, HEC-RAS, Mapa de inundação, Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC).

ABSTRACT

The urban participation of an entire area represents major changes in its natural characteristics. Waterproofing of the soil, removal of vegetation, alteration of the relief and hydrography are the first changes caused by the urbanization of a region and, from there, to accompany them with an adequate infrastructure. For these reasons, they were flooded in urban areas and defined as places of risk to the security of the population, as well as for disasters and financial costs. The present work had the objective of applying the input data analysis in the HEC-RAS software for mapping the flood areas of the Rector Campus João David Ferreira Lima (UFSC), located in the city of Florianópolis (SC). It was observed that the topography data were provided by the SDS, in a scale of 1:10,000, are not representative for the creation of flood areas, since water levels in centimeter scale and MDT have errors of up to 3 meters. The flow data, accumulated through the PRAD, can not be coherent before and after the channel extravasation, demonstrating a possible misunderstanding of the key curve in the exudation section. The calibration of the model was performed by the Manning roughness coefficient only into the channel, based on 0.032 and, at its margins, the value of 0.05 was adopted. The test data of a low accuracy of data, as well as, a lack of data necessary for a good calibration of the mathematical model.

Palavras-chave: Hydraulic Modeling, HEC-RAS, Flood Map, Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico Terrestre.....	24
Figura 2- Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada.	27
Figura 3 - Características do balanço hídrico numa bacia pré e pós urbanização.	27
Figura 4 – Caracterização dos estados de um rio.	29
Figura 5 – Inundações no estado de Santa Catarina no período de 1991 a 2012.	30
Figura 6 – Representação dos termos da Equação de Energia.	35
Figura 7 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio.	40
Figura 8 – Mapa de Elevação do Terreno da Bacia do Rio do Meio.	41
Figura 9 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio do Meio.	42
Figura 10 – Fluxograma de Projeto.	44
Figura 11 – Canais utilizados no estudo.	45
Figura 12 – Foto da Ponte na Rua Delfino Conti, vista (a) montante e (b) jusante.	46
Figura 13 – Ponte na Rua Delfino Conti.	47
Figura 14 – Localização das Seções Transversais utilizadas no estudo.	48
Figura 15 – Tipos de seções utilizadas no estudo.	50
Figura 16 – Seções Tipo.	50
Figura 17 – Foto das Seções Tipo dos Rios: (a) Tipo 1, (b) Tipo 2, (c) Tipo 3, (d) Tipo 4, (e) Tipo 5.	51
Figura 18 – Foto do encontro dos Rios Carvoeira e do Meio.	52
Figura 19 – Divisão das áreas de contribuição de cada canal.	55
Figura 20 – Hidrograma do evento do dia 11/01/2018.	56
Figura 21 – Hidrograma do evento do dia 17/01/2018.	57
Figura 22 – Materiais presentes no fundo dos canais.	60
Figura 23 – Níveis d’água próximo ao exutório com calibração.	62
Figura 24 – Níveis d’água próximo ao exutório com cota fixada.	62
Figura 25 – Mapa de Inundação dos eventos simulados.	63
Figura 26 – Ampliação da Vista 1.	64
Figura 27 – Ampliação da Vista 2.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões das seções Tipo.....	51
Tabela 2 – Coeficientes de Rugosidade de Manning.	54
Tabela 3 – Área contribuinte de cada ottobacia.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GIS	Geographic Information System
HEC-RAS	Hydrological Engineering Center - River Analysis System
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDT	Modelo Digital de Terreno
MGB-IPH	Modelo de Grandes Bacias – Instituto de Pesquisas Hidráulicas
PRAD	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	19
2.	OBJETIVO.....	21
2.1.	OBJETIVO GERAL	21
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1.	CICLO HIDROLÓGICO	23
3.2.	INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS	26
3.3.	MAPA DE INUNDAÇÃO	31
3.4.	MODELAGEM HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA	32
3.5.	HEC-RAS	34
4.	METODOLOGIA.....	39
4.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	39
4.2.	FLUXOGRAMA DE PROJETO	43
4.3.	CANAIS UTILIZADOS NO ESTUDO	44
4.4.	SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS CANAIS.....	47
4.5.	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING.....	53
4.6.	VAZÕES UTILIZADAS	54
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.1.	CALIBRAÇÃO DO MODELO	59
5.2.	NÍVEIS DE INUNDAÇÃO	61
5.3.	MAPAS DE INUNDAÇÃO.....	63
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno que vem tomando conta das cidades nas últimas décadas. Esse processo é decorrente de pessoas buscando oportunidades em centros urbanos e, quando não vem combinado com uma infraestrutura adequada e de um acompanhamento social, pode trazer consigo uma série de problemas à população. A impermeabilização do solo, a retirada da vegetação, a alteração do relevo e da hidrografia são as primeiras mudanças decorrentes da urbanização de uma região e são os principais fatores quando o assunto é inundação.

A urbanização de uma bacia hidrográfica contribui para o aumento da ocorrência de inundações, que nada mais é que o extravasamento de água do canal, ocupando suas várzeas, e atingindo áreas antropizadas. Quando as margens desse canal são ocupadas pelo homem os problemas se agravam, podendo ser eles de cunho social, econômico e ambiental.

Houve um aumento considerável, não só na frequência e intensidade dos desastres naturais, mas, também, nos impactos que causam danos e prejuízos cada vez mais intensos. No Brasil, esses índices aumentam anualmente em virtude da ocupação desordenada do território e pela omissão do poder público na execução de uma política ambiental que viesse a reduzir a ocorrência de novas catástrofes (CEPED, 2013).

Desastres ocorridos por inundações podem ser evitados de diversas maneiras, podendo ser elas de caráter estrutural ou não estrutural. O mapa de risco ou mapa de inundação é uma das ferramentas mais eficientes para que se possa tomar decisões e adotar medidas de acordo com as características de cada região. Os mapas de inundação ajudam no planejamento urbano de uma cidade, assim como para ações de alerta e evacuação de um local, além de servir como instrumento para conscientização da população.

A bacia hidrográfica do Rio do Meio, localizada no campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, é uma bacia urbana e, vem sofrendo com episódios de inundação. A instalação da universidade e o crescimento urbano desordenado na região agravaram esse cenário. A grande impermeabilização do solo, juntamente com a canalização dos cursos d'água, diminuem o tempo de concentração da bacia, influenciando no aumento da frequência de alagamentos, assim como, na magnitude dos eventos.

Outro fator relevante para os eventos de inundação na UFSC pode estar relacionado ao sistema de drenagem subdimensionado ou a falta de manutenção dos canais.

Um dos maiores eventos registrados para a bacia em estudo foi em dezembro de 1995, chuvas intensas e contínuas provocaram a inundação do Rio do Meio, causando diversos prej zos   UFSC e arredores. Esse evento destruiu moradias, estradas, houve perda de documentos importantes na Biblioteca Universitária da UFSC e, ainda, a paraliza o das atividades universitárias, causando um grande impacto social e econ mico.

Dessa forma,   de extrema importância e de interesse socioecon mico o estudo da bacia do Rio do Meio, a fim de evitar novos desastres e perdas.

O modelo matemático HEC-RAS   frequentemente utilizado e costuma ser muito eficiente nas simula es de eventos hidrológicos, podendo simular situa es extremas com precisão, necessitando, porém, de bons dados de entrada e ajustes de calibra o. Os resultados encontrados são de importância para o desenvolvimento e planejamento de uma região, podendo nortear o processo de gestão do território de forma mais precisa.

Com a finalidade de aplicar e analisar a influência da qualidade dos dados para mapeamento de áreas de inunda o do Campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), este trabalho utilizar  o *software* HEC-RAS para a modelagem hidráulica da bacia hidrográfica do Rio do Meio e, também, o *software* ArcGIS e suas extensões para auxílio na compila o de dados para entrada do modelo e, posteriormente, na gera o do mapa de inunda o em si.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Aplicar e analisar a influência da qualidade dos dados de entrada no modelo matemático HEC-RAS para o mapeamento de áreas de inundação no campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos do presente estudo, constam os seguintes:

- i. Levantamento de dados topográficos e hidráulicos para modelagem matemática;
- ii. Calibração e aplicação do modelo matemático HEC-RAS para os canais do Campus Reitor João David Ferreira Lima; e
- iii. Discussão da qualidade de dados levantados, utilizados no estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo em questão irá tratar da identificação das áreas de inundação do Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC). Para isso, será necessário a utilização de modelagem matemática, a fim de simular hidrodinamicamente os possíveis cenários e analisar o comportamento da bacia em eventos hidrológicos intensos.

Assim, após a apresentação da questão das inundações em áreas urbanas e sua contextualização, será abordado a importância do mapeamento de área de risco de inundação e, em seguida, a maneira que isso pode ser realizado. A modelagem hidráulica e hidrológica nos dá a possibilidade de identificar e dimensionar os possíveis estragos causados por inundações. Um modelo matemático bastante utilizado para gerar mapas de inundação é o HEC-RAS, que é o caso do presente estudo.

3.1. CICLO HIDROLÓGICO

O entendimento do ciclo hidrológico é fundamental para estudos relacionados à hidrologia e hidráulica. Segundo Tucci (2014), o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada, estimulado pela energia solar, associada à gravidade e à rotação da Terra, e constituído por duas partes: a circulação da água na superfície terrestre, que engloba a água presente no interior e superfície dos solos, rochas, nos oceanos e seres vivos; e a circulação da água na atmosfera em seu estado líquido, sólido ou vapor.

A circulação de água no ciclo hidrológico pode acontecer em dois sentidos: superfície-atmosfera e atmosfera-superfície. No primeiro, o fluxo ocorre na forma de vapor em consequência dos fenômenos de evaporação e transpiração; no segundo, a transferência ocorre com a água em qualquer dos estados físicos (TUCCI, 2014).

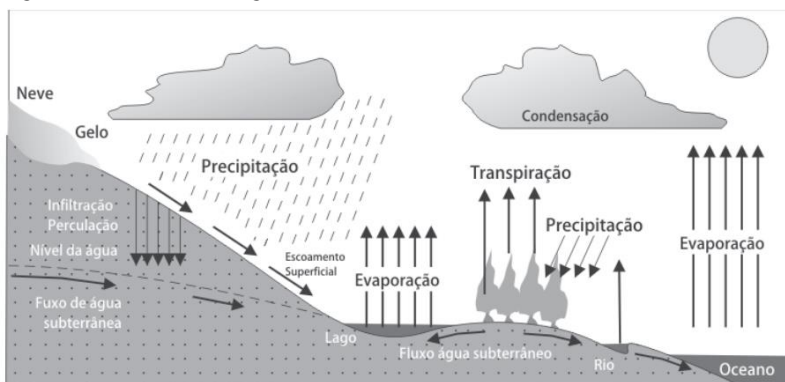
O ciclo hidrológico não é um mecanismo contínuo e de taxa constante, a água se move aleatoriamente em cada fase do ciclo, variando no espaço e no tempo. Ora pode chover intensamente ultrapassando a capacidade dos cursos d'água e causando inundações, ora o ciclo pode parar totalmente, resultando em estiagens (VILLELA; MATTOS, 1975). Para os projetos de engenharia, a ocorrência e registro desses extremos são o que possibilitam o dimensionamento das obras de proteção nas cidades.

Alguns fatores podem influenciar o ciclo hidrológico em diferentes partes do planeta: a incidência solar, a diferença entre o comportamento térmico dos continentes e dos oceanos, a quantidade de vapor, gás

carbônico e ozônio na atmosfera, a variabilidade de tipos e coberturas do solo, a influência da rotação e da inclinação do globo terrestre (TUCCI, 2014).

Segundo Righetto (1998), diz-se ciclo hidrológico o processo evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água nos solos e aquíferos, escoamentos fluviais e a interações entre todos esses componentes. A Figura 1 mostra o esquema representativo do ciclo hidrológico terrestre.

Figura 1 – Ciclo Hidrológico Terrestre.



Fonte: IGBP, 1993.

Toda a água advinda da atmosfera que atinge a superfície terrestre pode ser considerada precipitação, independentemente do estado físico que se encontra. A chuva é o tipo de precipitação mais importante para estudos hidrológicos no Brasil, pela sua alta capacidade de produzir escoamento, e determinar sua intensidade auxilia no controle de inundações e erosão do solo. As principais propriedades analisadas da precipitação são o seu total, sua duração e sua distribuição temporal, uma vez que o total precipitado não tem significado se não estiver ligado a um tempo de duração (TUCCI, 2014).

Tucci (2014) afirma que a evaporação e a evapotranspiração ocorrem quando a água é convertida de seu estado líquido para vapor e transferida para a atmosfera, e esse processo só ocorre naturalmente se houver energia no sistema (energia do sol e da atmosfera). A transpiração é a evaporação devido à ação fisiológica dos vegetais.

Pinto et al. (1976) define infiltração como um fenômeno de penetração de água no solo, movendo-se para baixo por meio dos vazios e sob a ação da gravidade, restando-se entre camadas suportes e

armazenando água no terreno. Esse processo depende de componentes como a: quantidade de água disponível para infiltrar, a natureza do solo e a quantidade de água e ar presentes no interior do terreno.

Quando a precipitação que atinge o solo é menor do que a capacidade de infiltração do próprio solo, essa capacidade é diminuída e o solo umedecido. Se a precipitação continuar, a capacidade de infiltração passa a decrescer exponencialmente no tempo tendendo a um valor mínimo de infiltração. A água não infiltrada escoar superficialmente para as áreas mais baixas, infiltrando novamente, se houver condições, ou podendo provocar inundações (TUCCI, 2014).

Dentre as fases do ciclo hidrológico, a mais importante para projetos de engenharia é a do escoamento superficial, pois a maioria dos estudos hidráulicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Podemos considerar escoamento superficial desde o excesso de precipitação após uma chuva intensa se deslocando pela superfície de um terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pela precipitação quanto pelas águas subterrâneas (TUCCI, 2014).

Segundo Borghetti et al. (2004), água subterrânea é toda aquela que ocorre abaixo da superfície da Terra e que preenche poros e vazios intragranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas. Essa água submetida à força de adesão e à gravidade desempenha papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios e lagos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, visto que são uma parcela da água precipitada.

O tipo de terreno influencia diretamente na intensidade da percolação da água no solo. Algumas formações apresentam vazios que facilitam o fluxo descendente, no entanto, se encontrar camadas menos permeáveis a água poderá preencher todos os vazios dessa região, formando zonas saturadas, que são chamadas de lençóis subterrâneos. Se um lençol subterrâneo for estabelecido em uma formação suficientemente porosa, armazenando uma quantidade considerável de água e permitindo o escoamento em condições favoráveis para utilização, recebe o nome de aquífero (PINTO et. al., 1976).

A recarga de um aquífero pode ocorrer de forma natural, através da precipitação ou infiltração em leitos de rios, canais e lagos, ou de forma induzida, por atividades antrópicas como irrigação e urbanização (Lerner et al., 1990).

O conhecimento do ciclo hidrológico é essencial para o entendimento, previsão e controle de possíveis danos causados por eventos naturais extremos.

3.2. INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS

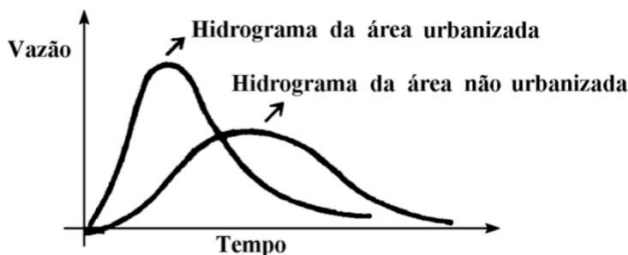
O crescimento desenfreado de centros urbanos raramente é acompanhado do desenvolvimento adequado de infraestrutura, podendo ocasionar diversos problemas que atingem diretamente a sociedade.

A impermeabilização do solo é uma das consequências da urbanização das cidades, modificando o regime hidrológico, diminuindo a infiltração e, assim, elevando a vazão de escoamento superficial e reduzindo o tempo de concentração da bacia, favorecendo a ocorrência de inundações (FINDLAY; TAYLOR, 2006). Botelho (2011) complementa afirmando que a urbanização forma ilhas de calor, responsáveis por chuvas mais intensas e localizadas.

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal e, consequentemente, provoca alterações nos componentes do ciclo hidrológico natural. O escoamento superficial aumenta devido à impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, e a água que infiltraria passa a escoar pelos condutos. A urbanização acaba por exigir uma maior capacidade de escoamento das seções, uma vez que o volume de água que antes escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido nas plantas, agora passa a escoar no canal (TUCCI; BERTONI, 2003). Outros fatores contribuintes para enchentes e inundações são: desmatamento, mudanças nas práticas agrícolas, mudanças nos canais naturais de drenagem (canalização, retificação, etc.) e construção de reservatórios (TUCCI, 2011).

Conforme o solo vai sendo impermeabilizado, o escoamento da água é acelerado devido a sua canalização, fazendo com que haja picos de vazão em curtos espaços de tempo, aumentando a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio e resultando em inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo terreno natural (TUCCI; BERTONI, 2003). Podemos analisar através da Figura 2 a diferença dos hidrogramas de uma área urbanizada e de uma área não urbanizada.

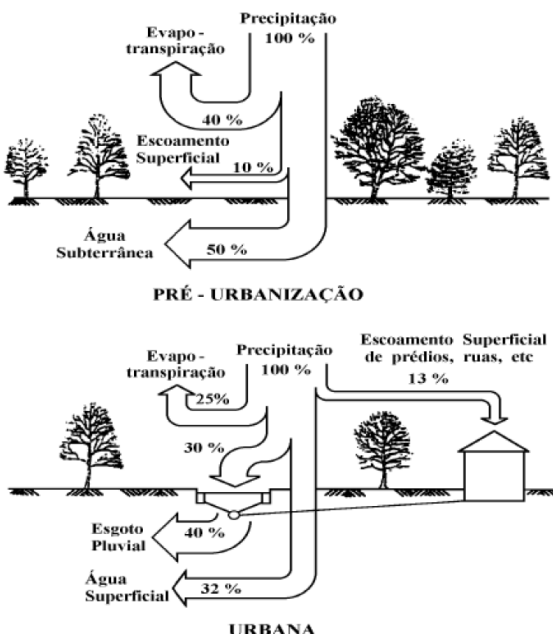
Figura 2- Hidrograma hipotético de uma área urbanizada e não urbanizada.



Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Podemos observar a diferença entre o hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização. A urbanização aumenta a vazão máxima, antecipa seu pico e aumenta o volume do escoamento superficial. Enquanto o hidrograma da área não urbanizada tem um formato mais atenuado. A Figura 3 compara o balanço hídrico em uma bacia antes e depois de sua urbanização.

Figura 3 - Características do balanço hídrico numa bacia pré e pós urbanização.



Fonte: OECD (1986), apud Tucci e Bertoni (2003).

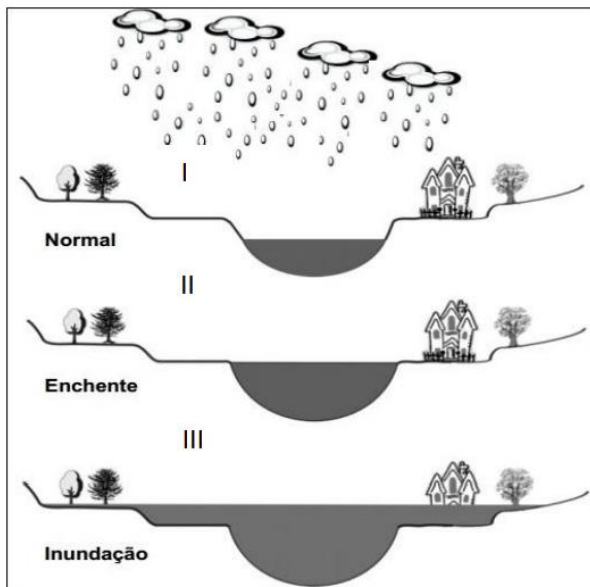
Analisando a Figura 3 percebe-se que a evapotranspiração de uma bacia não urbanizada é de 40% da precipitação, enquanto em uma bacia urbana, apenas 25%. Isso ocorre devido à redução da cobertura vegetal. Ainda, na bacia pré urbanizada, 10% da água contribui para o escoamento superficial e 50% para as águas subterrâneas. Após a urbanização, com a superfície impermeabilizada, a contribuição para águas subterrâneas é mínima, e os 75% restantes da água divide-se entre escoamento superficial e a água que escoar pela drenagem pluvial.

Tucci e Bertoni (2003) afirmam que as inundações devidas à urbanização estão mais frequentes nesse século pelo aumento significativo das cidades, e, também, pela tendência dos engenheiros a drenarem para longe o escoamento pluvial, o mais rápido possível, das áreas urbanizadas.

Os termos enchente e inundação se diferem em seus significados. Enquanto a enchente caracteriza-se por uma vazão relativamente grande de escoamento superficial, a inundação caracteriza-se pelo extravasamento do canal. Dessa forma, uma enchente pode não causar inundação principalmente se obras de controle forem construídas para esse fim. No entanto, caso haja alguma obstrução no canal poderá ocorrer uma inundação, mesmo não havendo um grande aumento de escoamento superficial (VILLELA; MATTOS, 1975). Enchentes e inundações podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios e serem ampliados pela ação do homem na urbanização, impermeabilizando superfícies e canalizando rios (TUCCI; BERTONI, 2003).

Para melhor entendimento dos termos enchente e inundação podemos observar a Figura 4 e as três situações nela apresentadas:

Figura 4 – Caracterização dos estados de um rio.



Fonte: Goerl e Kobiyama, (s.d)

Na representação I temos o canal em seu estado normal. Na situação II, o rio está com seu volume elevado até a altura das margens, mas não acontece o transbordamento para as áreas vizinhas, caracterizando uma enchente. Já a situação III apresenta um leito de inundação, onde o rio transborda alagando suas várzeas.

Visando diminuir os prejuízos causados, é possível fazer a gestão e combate ao risco de inundação através de medidas de controle, buscando tornar mínimo o risco à população exposta. Essas medidas se dividem em dois grupos: estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais são obras de engenharia que modificam o sistema fluvial e características da superfície da bacia e reduzem os riscos de enchentes, enquanto as medidas não-estruturais são aquelas que defendem a melhor convivência da população com as cheias (regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental, sistemas de alerta de inundações, etc.) (TUCCI, 2005).

CEPED (2013) apresenta que, entre os anos de 1991 e 2012 foram registados 449 casos oficiais de inundações excepcionais no estado de Santa Catarina, caracterizados como desastre. A Figura 5 mostra o mapa

É possível perceber que o aumento da população e da urbanização, acompanhada da falta de estrutura dos municípios, as inundações são cada vez mais favorecidas e frequentes. O monitoramento ambiental aplicado às áreas de risco se torna essencial nesses casos e pode ser realizado através de ferramentas de simulação. O produto final dessa análise espacial é um mapa de risco, que é o instrumento para avaliação de áreas suscetíveis à inundação.

3.3. MAPA DE INUNDAÇÃO

O mapeamento de áreas de risco à inundação é fundamental para prevenção, controle e gestão das inundações. Os mapas de risco permitem avaliar a situação das cheias para regiões individualizadas e para objetos (edifícios ou infraestrutura). A partir desses mapas é possível obter um detalhamento que possibilite a análise e os cálculos dos danos e dos riscos, por meio de estimativas de inundação das áreas atingidas (MERZ; THIEKEN; GOCHT, 2007).

Os mapas de inundação podem ser divididos em dois grupos: de planejamento e de alerta. Os mapas de planejamento delimitam as áreas atingidas a partir de tempos de retorno escolhidos, enquanto mapas de alerta utilizam valores de cota nas esquinas das áreas de risco, permitindo que os moradores possam fazer esse acompanhamento com base na marcação do nível da água nas réguas (TUCCI, 2014).

A partir da elaboração dos mapas de risco de uma região é possível definir o zoneamento das áreas inundáveis. Esses mapas devem conter, também, informações como: grau de risco e os critérios para ocupação para cada área, tanto para uso, como para construção. A ocupação pode ser classificada como planejada, regulada ou até mesmo proibida, de acordo com o zoneamento (TUCCI, 2014).

A obtenção de um mapa que contenha as manchas de inundação é o passo fundamental para se construir a política de gestão destes eventos, levando em consideração diversos tempos de retorno, extensão e profundidade da inundação e, até mesmo, a velocidade de escoamento da água. As informações contidas no mapa são de extrema importância, pois é este que deverá guiar as futuras expansões urbanas da cidade, investimentos em prevenção e até a construção de um plano de emergência para situações extremas (EXCIMAP, 2007).

Para a elaboração de um mapa de risco deve-se levar em consideração informações sobre a distribuição espacial do evento hidrológico ocorrido, tipologia, comportamento do fenômeno e seu conteúdo (tipo, tamanho e forma) que indicam a probabilidade de uma

nova ocorrência. Os levantamentos de dados são realizados com o uso de geotecnologias que integram espacialmente os dados possibilitando a análise dos impactos nos sistemas ambientais (CHAVES; FRANCA ROCHA, 2006). A interface que existe para integrar os dados de campo e o modelo de análise hidráulica é feita pelo SIG (Sistema de informações geográficas), conjuntamente com o MDT (Modelo Digital do Terreno). SIG e MDT são usados como uma ferramenta de entrada de dados e para ilustrar os resultados (MARK et al., 2004).

Após essa integração, é possível levar os dados ao modelo matemático, que simulará o evento e possibilitará a previsão das possíveis áreas de inundação de uma cidade, por exemplo.

3.4. MODELAGEM HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

Segundo Tucci (2005), modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem de fácil acesso e uso, com o objetivo de entender e buscar respostas variando seus dados de entrada. A simulação é o processo de utilização do modelo. O autor ainda classifica os modelos da seguinte maneira: físicos, analógicos e matemáticos.

O modelo físico representa o sistema em moldes de escalas menores. Esse modelo é utilizado na hidráulica, por exemplo, com a teoria da semelhança para o estabelecimento de modelos reduzidos. O modelo analógico utiliza analogia de equações que regem diferentes fenômenos para modelar no sistema mais conveniente o processo desejado. Já os modelos matemáticos, também chamados de digitais, são os que utilizam equações matemáticas para representar a natureza do sistema (TUCCI, 2005).

Os modelos matemáticos são mais versáteis, sua lógica pode ser facilmente modificada para se obter resultados de diferentes situações de um mesmo sistema, além de sua rápida velocidade de resposta. Uma dificuldade encontrada no uso desse tipo de modelo está na discretização de processos contínuos, e que em algumas áreas de estudo ainda não existem funções matemáticas, que representem convincentemente certos fenômenos físicos (TUCCI, 2005).

Os modelos matemáticos são ferramentas fundamentais para o planejamento e previsões de situações reais. Estes, podem ajudar a prever a resposta de um evento em função de alguma ação, ou podem servir como auxílio para interpretar alguma situação a partir de informações obtidas (FEITOSA et al, 2008).

Os modelos hidráulicos e hidrológicos são modelos matemáticos utilizados para melhor entender e representar o comportamento de um

corpo hídrico e prever condições diferentes das observadas. As simulações para sistemas fluviais são importantes para a determinação do papel ecológico dos rios, para verificar o risco na planície de inundação em fluxos intermediários, bem como o risco e o impacto das ondas de cheias e como amenizá-los (PASQUALE et al, 2013).

Righetto (1998) afirma que os modelos hidrodinâmicos são construídos a partir de uma abordagem física do processo hidrológico, utilizando a equação da continuidade (Equação 1) e a equação de movimento (Equação 2), podendo ser utilizadas em sua forma completa ou simplificada. Independente da abordagem selecionada, os modelos hidráulico-hidrológicos sempre utilizarão estas equações básicas de continuidade e movimento, podendo desprezar alguns termos em função do tipo e condições de escoamento a serem analisados. A partir disto e das condições iniciais e de contorno, o modelo desenvolve algoritmos numéricos, a fim de resolver o conjunto de equações diferenciais, que representa simplificadamente o fenômeno físico estudado.

$$\text{Equação 1:} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + h \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$\text{Equação 2:} \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + g \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = g \cdot (S_o + S_f)$$

Onde t [s] é a variável independente relativa ao tempo; x [m] é a variável independente relativa à direção do escoamento; u [m/s] é a velocidade média do escoamento; g [m/s²] é a aceleração da gravidade; h [m] é a espessura da lâmina líquida; S_o [m/m] é a declividade média da calha fluvial ou do fundo do canal; e S_f [m/m] é a declividade da linha de energia, equivalente ao termo de perda de carga unitária decorrente do atrito.

Em casos de falta de dados, nos estudos hidrológicos voltados à drenagem urbana, são adotados modelos matemáticos para definição de hidrogramas de projetos, utilizando dados das características hidráulicas e geomorfológicas da bacia: impermeabilização, tempos de concentração, bem como suas precipitações e vazões máximas (CANHOLI, 2005).

A calibração dos modelos matemáticos depende de vários fatores e é o elemento mais importante para a confiabilidade dos resultados. Idealmente, requer o uso de vários parâmetros como coeficientes de rugosidade e condições de contorno de fluxo, a fim de responderem adequadamente ao comportamento do corpo hídrico. Ainda, estes tipos de modelos são muito versáteis, porque podem ser facilmente modificados

para fornecer respostas para diferentes entradas rapidamente (TUCCI, 2005).

O alcance da modelagem em processos hidrológicos é um aspecto importante em relação ao uso de modelos hidráulico-hidrológicos. Enquanto modelos hidrológicos visam à obtenção de hidrogramas de cheias no exutório de uma bacia, os modelos hidráulico-hidrológicos buscam a compreensão de todos os processos que ocorrem no interior da bacia, possibilitando a quantificação de variáveis de importância para análise e tomada de decisões.

Um modelo matemático computacional muito utilizado para modelagem hidráulica é o HEC-RAS, sendo possível simular várias situações e criar mapas de inundação a partir dele.

3.5. HEC-RAS

Hydrological Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) é um modelo matemático computacional desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (USACE), em 1995.

O HEC-RAS possibilita modelagens unidimensionais e pode realizar simulações de escoamento permanente, escoamento não permanente, transporte de sedimentos e qualidade da água. Seus resultados são expressos em forma de hidrogramas, nível de água e velocidades (USACE, 2010).

Esse modelo hidrodinâmico pode ser utilizado em canais naturais ou artificiais e tem como dados de entrada os aspectos geométricos da seção do canal e dados hidráulicos. Ainda é possível calcular os perfis d'água nas seções considerando o escoamento permanente gradualmente variado e em regimes supercrítico, subcrítico e misto. A perda de carga no sistema é sempre calculada através da equação de Manning (USACE, 2010).

O HEC-RAS pode apresentar resultados considerados instáveis, como descontinuidade nos hidrogramas e perfis d'água que podem ser resolvidos através de algumas alterações de parâmetros do modelo, como a distância entre as seções, o intervalo de tempo de computação ou ainda as condições de contorno (USACE, 2010).

Para processar os dados de entrada a serem utilizados na simulação o modelo possui uma interface para ArcGIS, o HEC-GeoRAS. Trata-se de uma extensão do ArcGIS que fornece uma série de procedimentos e ferramentas, gerando dados georreferenciados. Ela permite criar arquivos de importação do HEC-RAS contendo informações geométricas de um

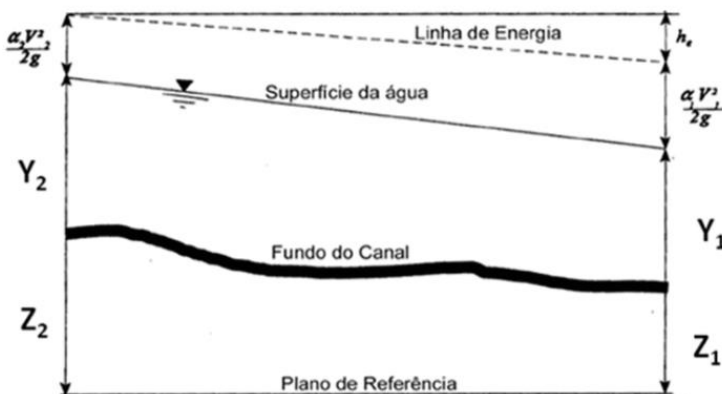
modelo digital de elevação (MDT) e outros conjuntos de dados, tais como: cursos d'água, trechos, margens, perfis das seções, distância entre seções e coeficientes de rugosidade. Também podem ser adicionadas, bacias de detenção, barragens, pontes e etc. (USACE, 2010).

O *software* HEC-RAS simula o perfil de nível de água de uma seção transversal para outra, de montante para jusante, por meio de um procedimento iterativo chamado *Standard Step Method* (USACE, 2016), conforme a Equação 3:

$$\text{Equação 3:} \quad Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

Onde Z_1 e Z_2 representam a elevação do fundo do canal principal (m); Y_1 e Y_2 a profundidade da linha d'água nas seções transversais (m); V_1 e V_2 são a velocidade média (m.s^{-1}); α_1 e α_2 representam o coeficiente de correção da energia cinética; g é a aceleração da gravidade (m.s^{-2}) e h_e é a perda de carga (m). A Figura 6 mostra a representação dos termos da Equação da Energia entre duas seções de um canal.

Figura 6 – Representação dos termos da Equação de Energia.



Fonte: adaptado de USACE (2010).

Com os perfis d'água simulados, pode-se determinar as alturas de níveis d'água e definir seus limites de inundação, gerando, assim, um mapa de inundação.

Zin, Kawasaki e Win (2015) geraram mapas de inundação na Bacia do Rio Bago, em Mianmar, um país do sul da Ásia continental utilizando o *software* HEC-RAS. Simulou-se nove eventos de inundação que foram

utilizados para calibrar e validar os resultados. Os mapas de inundação foram delineados para diferentes períodos de retorno, concluindo que para TR 100 anos a água pode afetar a área urbana da cidade de Bago. Informações geradas nesse estudo podem contribuir para avaliações de possíveis danos causados por inundações no local, ou mesmo em regiões próximas onde os dados são limitados para modelagem.

Oliveira et al. (2016) delimitou as áreas inundáveis do Córrego Macambira no município de Goiânia-GO para a implantação de um parque linear às margens de dois córregos. O curso d'água encontra-se degradado e com suas margens ocupadas desordenadamente. Para delimitação do perímetro máximo do parque utilizou-se uma topografia de alta resolução e o software HEC-RAS para as simulações de cenários. O estudo mostrou que a mancha de inundação obtida se mantém, na maior parte do tempo, dentro da calha natural inundável do curso d'água. No entanto, em alguns pontos pode haver transbordamento que atingem até 70 metros a partir da calha natural, atingindo áreas habitadas. O estudo hidrodinâmico permitiu o diagnóstico atual do funcionamento da calha de drenagem existente do Córrego Macambira, criando uma base de dados para projetos e possibilitando estratégias de intervenção para eventos hidrológicos intensos.

Monte et al. (2016) propôs o mapeamento de áreas inundáveis no município de Rio Largo, em Alagoas, na Bacia do Rio Mundaú, utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH e o modelo hidráulico HEC-RAS para cheias extremas com diferentes tempos de retorno e vazão. O modelo hidráulico teve boa correspondência com os dados do ano de 2010 em áreas urbanas e rurais perto do curso d'água. Entretanto, em áreas urbanas distantes do canal houve uma superestimação, mostrando a necessidade de um MDT mais detalhado. O estudo comprovou que o uso de modelos acoplados é viável para representar o mapeamento de áreas inundáveis, quando não se possui dados de medição de vazão no local para auxiliar o modelo hidráulico.

O HEC-RAS também pode ser utilizado para simulações em outras áreas de estudo como, por exemplo, o uso de traçadores fluorescentes para determinar características de transporte e dispersão no Rio Piabanha, no estado do Rio de Janeiro, para modelagem quali-quantitativa. Silva, Pecly e Azevedo (2017) calibraram seu modelo utilizando dados de vazão e velocidade média obtidos em ensaios com traçadores fluorescentes pois, dados obtidos por métodos clássicos em rios com geometria muito irregular não representaram adequadamente a real dinâmica do rio. Para o caso estudado, o modelo HEC-RAS apresentou ótima concordância

entre seus resultados e os dados obtidos por meio de ensaios com os traçadores fluorescentes.

Xiong (2011) também utilizou o software HEC-RAS para seu estudo de ruptura de barragem. O modelo foi utilizado para simular a ruptura da barragem Foster Joseph Sayers, na Pensilvânia, como exemplo de aplicação da teoria apresentada em seu estudo. Xiong (2011) pode concluir pelos seus resultados que o processo de ruptura de barragem é bastante complexo e abrange muitos princípios. No entanto, através do modelo foi possível simular algumas situações através de parâmetros utilizados e caracterizar prováveis cenários de ruptura, níveis de água e inundação.

Dessa forma, podemos ressaltar a importância do mapeamento das áreas de inundação em uma cidade tanto para seu desenvolvimento quanto para prevenção e tomadas de decisão em situações de emergência. No entanto, a confiabilidade do mapa de inundação é essencial e, o fator mais importante para garantir isso, é a qualidade dos dados de entrada e a sensibilidade na calibração do modelo hidráulico. Os modelos matemáticos têm a capacidade de simular e prever cenários futuros, de modo analisar o comportamento de um corpo hídrico em eventos de precipitação intensos e assim possibilitar a prevenção/redução de danos causados por inundações (sociais e econômicos).

4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consiste no levantamento e processamento dos dados de entrada para o modelo hidráulico utilizado, tais como: topografia do local, vazões e seções do canal e dados pluviométricos. Em seguida serão simulados cenários a partir de eventos hidrológicos ocorridos, de diferentes intensidades, para então elaborar o mapa de inundação do Campus Reitor João David Ferreira Lima localizado na cidade de Florianópolis (SC).

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio do Meio compreende o campus universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, na região centro-oeste de Florianópolis – SC. A localização do exutório da bacia fica nas coordenadas UTM (22S) 745022,527 S e 6944815,414 W do sistema de referência SIRGAS 2000 e, sua ocupação é de uso comercial e residencial, possuindo aproximadamente 70% de sua área urbanizada.

A bacia em estudo conta com: uma área de drenagem de aproximadamente 4,0 km²; o seu rio principal é o Rio do Meio com, aproximadamente, 3,5 km de extensão; o perímetro da bacia é de 11,8 km; o exutório fica a aproximadamente 3 metros de altitude, em relação ao nível do mar, e, seu fator de forma é menor que 0,2, comprovando seu formato alongado. As áreas com menor ocupação urbana da bacia encontram-se nas cabeceiras.

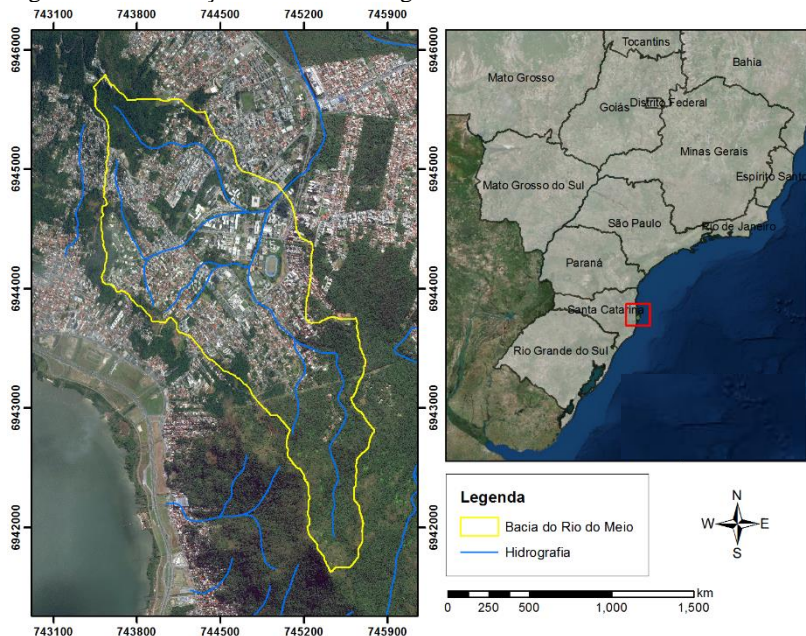
A área está contida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi (23 km² de área de drenagem), que é uma das mais problemáticas da cidade, devido ao fato de boa parte das ocupações se encontrarem nas áreas mais suscetíveis a inundações. Tal situação faz com que a população conviva com constantes transbordamentos dos rios da bacia. O Rio do Meio desemboca no Rio Itacorubi, e grande parte de sua extensão encontra-se dentro do Manguezal do Itacorubi (FLORIANÓPOLIS, 2009).

A hidrografia que constitui o sistema de drenagem da Bacia do Rio do Meio é formada pelo seu rio principal e seus rios afluentes, são eles: Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul, Serrinha e Carvoeira. É uma bacia essencialmente urbana e com seus canais revestidos com pedras nas paredes e o fundo de concreto (MULUNGO, 2012).

A delimitação da área da bacia se deu com base no Modelo Digital de Terreno (MDT), fornecido pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS) através do software ArcGIS 10.3.

A Figura 7 apresenta o mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio.

Figura 7 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio.



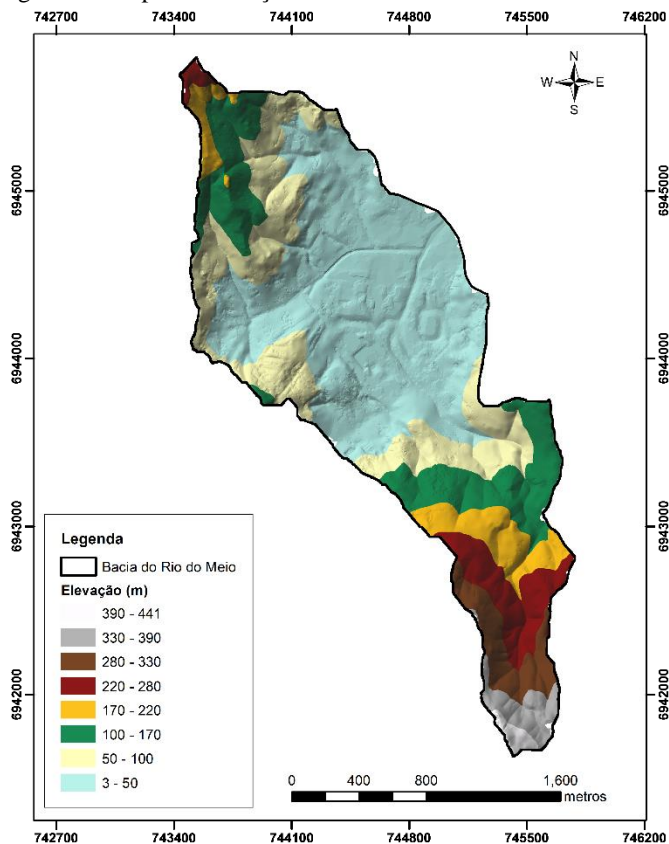
Fonte: Autora.

Para calcular o regime pluviométrico da bacia utilizou-se dados de séries históricas de uma estação (código 02748006) de responsabilidade do INMET, em Florianópolis. Com base nos dados de precipitação de 1961 a 1990, da estação código 02748006, do INMET, a média anual de precipitação na área é de, aproximadamente, 1.518 mm, sendo que: 24,8% da precipitação ocorre na primavera (outubro a dezembro), 35,1% no verão (janeiro a março), 18,4% no outono (abril a junho) e 21,7% no inverno (julho a setembro).

Os solos predominantes da bacia são os argissolos e os gleissolos. E a impermeabilização do solo é tida como alta (FLORIANÓPOLIS, 2004).

A Figura 8 apresenta o mapa de elevação do terreno da Bacia do Rio do Meio, criado a partir do MDT fornecido pela SDS, com resolução espacial de 1 metro com projeção geográfica SIRGAS 2000.

Figura 8 – Mapa de Elevação do Terreno da Bacia do Rio do Meio.

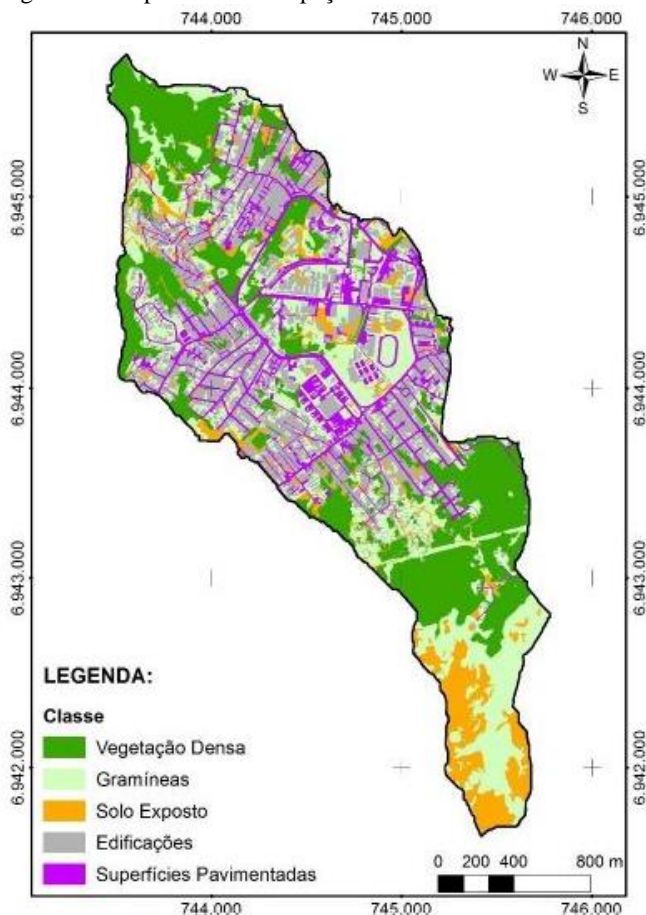


Fonte: Autora.

A declividade média da bacia é de 25%, sendo as áreas próximas ao exutório mais planas e, as áreas próximas as nascentes dos rios mais íngremes (AQUINO, 2017). O relevo da bacia é bastante variado, classificado pela EMBRAPA (1979) como forte-ondulado. Essa classificação se dá para superfícies com predominância de declividades entre 20% e 45%. Logo, pode se concluir que a urbanização se distribui conforme a topografia do terreno, sendo as áreas próximas ao exutório mais urbanizadas, por causa do seu relevo mais plano e, também, pela universidade ter se desenvolvido nessa região.

A Figura 9 apresenta o mapa da ocupação e uso do solo da Bacia do Rio do Meio.

Figura 9 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio do Meio.



Fonte: Aquino (2017).

Na região central e próximo ao exutório da bacia, temos a presença de superfícies mais impermeabilizadas, devido a edificações e pavimentações, correspondente a 35,45% da área da bacia. Na região próxima as nascentes dos rios, predomina a vegetação mais densa e gramíneas, correspondente a 54,87% da área. Ainda, ressalta-se a grande área de solo exposto no sul da bacia, equivalente a 9,68% da área (AQUINO, 2017).

4.2. FLUXOGRAMA DE PROJETO

A realização deste trabalho ocorreu conforme o fluxograma apresentado na Figura 10.

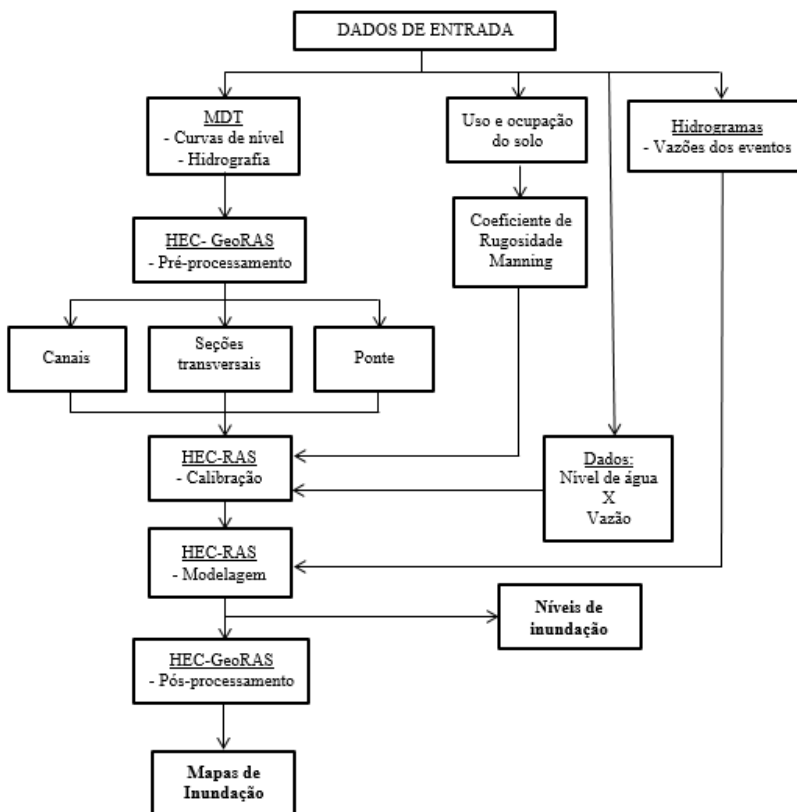
O primeiro passo foi a obtenção do MDT, com dados de elevação do terreno, obtendo-se as curvas de nível e, também, a hidrografia da bacia. Esses dados foram processados no software HEC-GeoRAS, onde definiu-se quais canais seriam utilizados, a localização das seções transversais e a localização da ponte sobre a Rua Delfino Conti.

Outro dado de entrada foi o Mapa de uso e ocupação do solo, de onde definiu-se o coeficiente de rugosidade de Manning para as margens dos canais.

Em seguida, todos os dados foram compatibilizados para o *software* HEC-RAS e, juntamente com os dados de vazão e níveis de água, foi possível calibrar o modelo. Após o modelo calibrado, inseriu-se os dados de vazões dos eventos ocorridos, assim, simulando os níveis de água atingidos por essas chuvas.

Por fim, os dados obtidos na modelagem retornaram para um pós-processamento no HEC-GeoRAS, de onde foi possível obter o mapa de inundação para tais eventos.

Figura 10 – Fluxograma de Projeto.



Fonte: Autora.

4.3. CANAIS UTILIZADOS NO ESTUDO

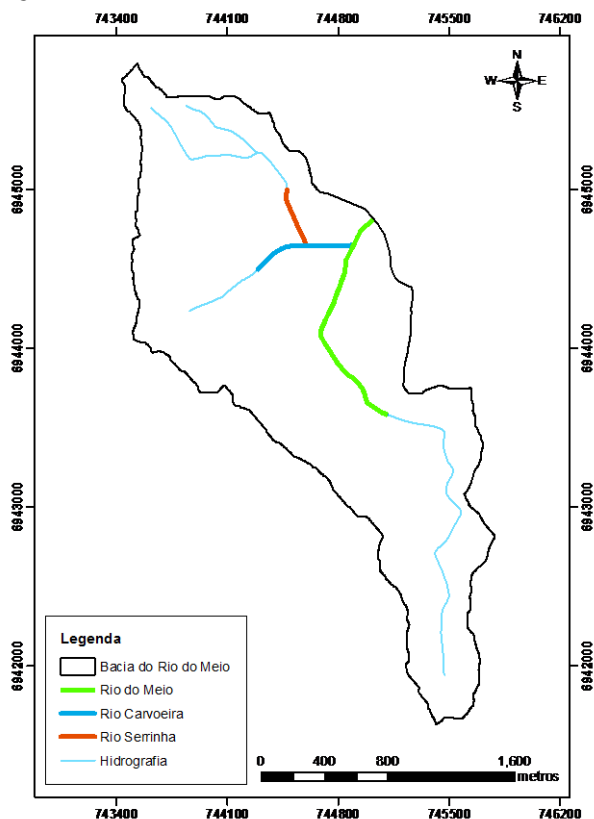
Como citado anteriormente, a hidrografia que constitui o sistema de drenagem da Bacia do Rio do Meio é formada pelos seguintes rios: do Meio, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul, Serrinha e Carvoeira, sendo o Rio do Meio o principal da bacia.

Para a modelagem do sistema foram adotados alguns critérios de escolha dos canais a serem utilizados no estudo. Os rios que contribuíam significativamente para a área mais plana da bacia e que possuíam levantamento das dimensões das seções do canal foram os utilizados nas simulações. São eles: o Rio do Meio, Rio Carvoeira e Rio Serrinha.

Outra particularidade adotada foi para a cabeceira dos rios, que foram desprezadas para a geração do mapa de inundação. Primeiramente, por se tratarem de áreas de maior altitude e que dificilmente sofreriam algum alagamento. Os rios Carvoeira e Serrinha foram modelados apenas com as seções em que seus canais são abertos, a cabeceira desses rios são canalizadas por dutos subterrâneos. Já o Rio do Meio possui sua cabeceira com o leito do canal natural, sem paredes e fundo de concreto, com vegetação e não urbanizada. Logo, também não foi considerado para a definição das áreas alagadiças.

A Figura 11 apresenta a hidrografia dos rios em estudo e destaca os trechos dos rios que foram utilizados nas simulações.

Figura 11 – Canais utilizados no estudo.



Fonte: Autora.

O HEC-GeoRAS foi utilizado na extração dos dados geométricos dos cursos d'água para a entrada no modelo HEC-RAS. O HEC-GeoRAS, extensão do *software* ArcGIS 10.3, possuía os dados digitais do terreno, a ortofoto da bacia e a hidrografia do local. Assim, foi possível definir os canais a serem utilizados, dividindo a hidrografia em diferentes canais, e, suas margens, direita e esquerda.

Para cálculos e uma representação que melhor corresponda à realidade, é necessário que se considere elementos que possam interferir no escoamento dos canais. O modelo utilizado para as simulações na Bacia do Rio do Meio levou em consideração a ponte sobre a Rua Delfino Conti, que possui um pilar longitudinal próximo à seção do exutório da bacia, local sujeito a inundações. As demais pontes que estão localizadas nas regiões susceptíveis a alagamentos, contam apenas com tabuleiro, sem pilares no meio do canal, tendo pouca significância para o escoamento.

A Figura 12 mostra a Ponte da Rua Delfino Conti a montante e a jusante, respectivamente, em imagens fotografadas pelo autor no dia 12/05/2018.

Figura 12 – Foto da Ponte na Rua Delfino Conti, vista (a) montante e (b) jusante.

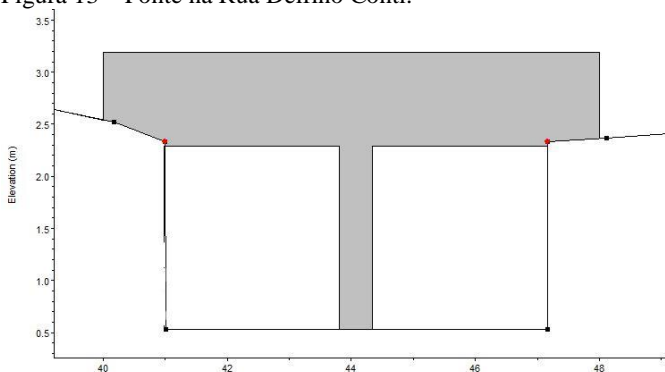


Fonte: Autora.

A ponte utilizada para simulação é de seção retangular e conta com toda a largura do canal (6,16 metros), conforme PRAD. A altura dos vãos é de 1,76 metros e o pilar no centro da ponte varia sua dimensão, além de reter detritos. Para fins de simplificação, foi adotado valor único de 0,5 metros de largura e 13 metros de comprimento para o pilar, acompanhando toda a extensão da ponte.

A Figura 13 mostra a seção da ponte que foi utilizada no software HEC-RAS para simulação.

Figura 13 – Ponte na Rua Delfino Conti.



Fonte: Autora.

Para elaboração deste trabalho, foram obtidos dados cartográficos referentes ao ano de 2010, da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina. São eles: modelo digital do terreno, com resolução espacial de 1 metro, e imagem de satélite, em escala de 1:10.000.

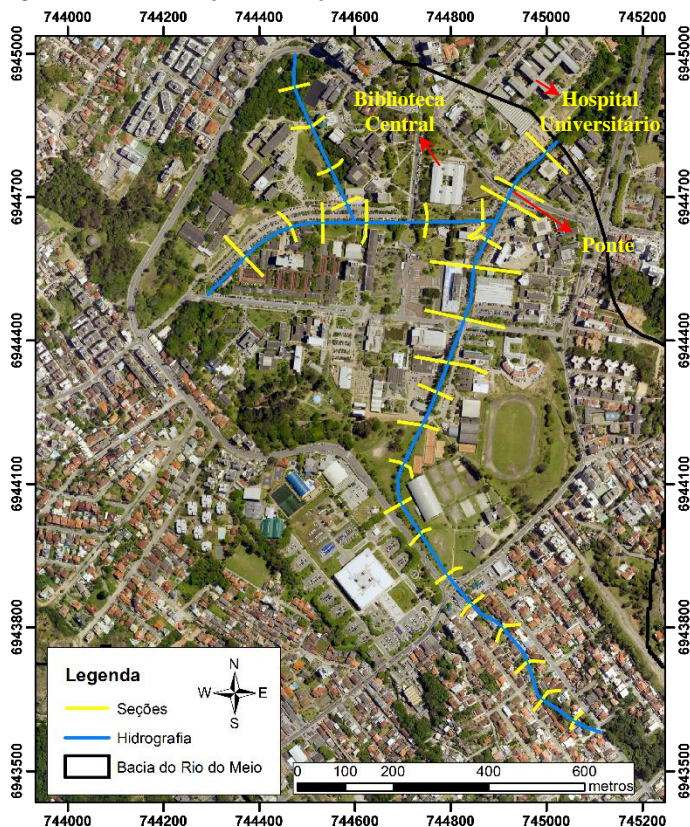
4.4. SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS CANAIS

Seções transversais são necessárias em uma modelagem para definir a forma do fluxo e suas características, como: expansões e contrações do canal, rugosidade e elementos que possam interferir no escoamento. Para modelagem no *software* HEC-RAS, além dos dados de vazão, também são necessários dados topobatimétricos das seções de escoamento. Para uma modelagem precisa, quanto maior a quantidade de dados, mais próximo da realidade serão os resultados. Ou seja, quanto mais seções transversais do canal forem inseridas no modelo, mais realista será a propagação da onda de cheia.

As seções transversais foram definidas no HEC-GeoRAS, perpendicularmente às linhas de fluxo, abrangendo o canal e suas margens. No total, foram 28 seções traçadas no modelo, para definir o terreno da área de estudo, com uma distância média de 80 metros entre elas.

A Figura 14 apresenta a localização dessas seções na área de estudo e, também, a localização da ponte sobre a Rua Delfino Conti.

Figura 14 – Localização das Seções Transversais utilizadas no estudo.



Fonte: Autora.

Os canais podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os cursos d'água encontrados no ambiente, como: córregos, rios, estuários e etc.. Os artificiais são os construídos pelo homem, como: canais de irrigação, de drenagem pluvial, aquedutos e etc.. Ainda, podem ser classificados como prismáticos, se ao longo de seu curso possuem seção reta e declividade de fundo constante, ou não prismáticos se possuem seção irregular e declividade de fundo variável. (PORTO, 2003).

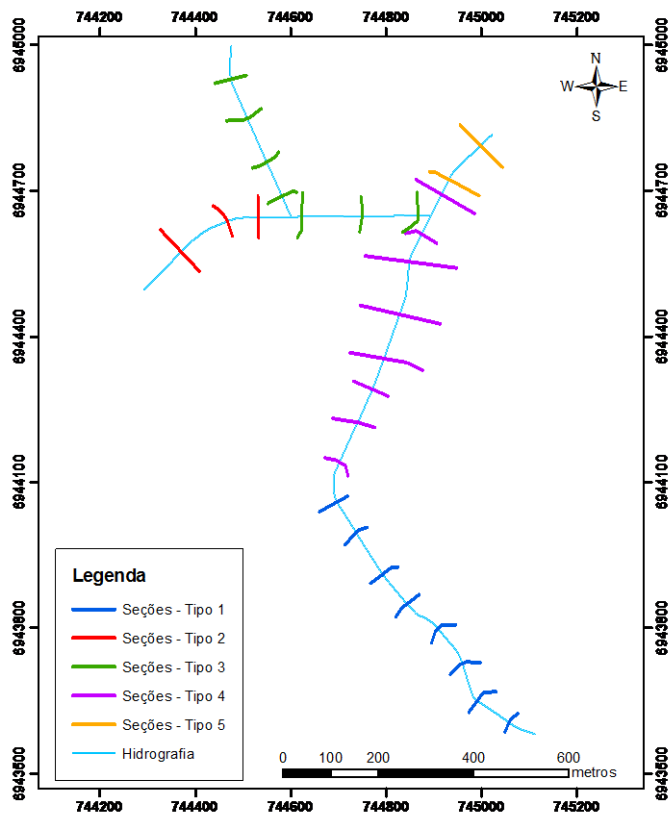
Na Baía do Rio do Meio, os canais são tidos como artificiais e, podem ser considerados prismáticos, uma vez que, as calhas de escoamento são retas, com paredes de pedra argamassada e fundo de concreto, e a declividade segue pela calha sem mudanças bruscas que interfiram significativamente no fluxo. A mudança de uma seção para

outra está basicamente nas margens do canal, onde foi considerado a própria topografia do terreno e nas dimensões do canal construído de um rio e outro.

O MDT utilizado não possui informações topobatimétricas da calha, necessárias para a representação da área de escoamento. A maneira mais eficiente para a obtenção dessas seções de escoamento é através da realização de medições topográficas ao longo da área de modelagem, ou seja, levantamento de dados feito em campo. As dimensões das seções construídas foram fornecidas pelo Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) da Universidade Federal de Santa Catarina, medidas no local.

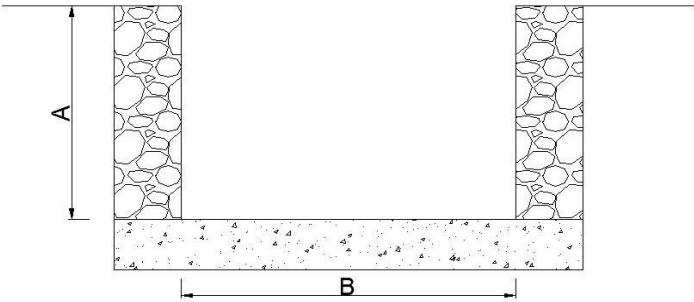
A Figura 15 mostra os diferentes tipos de seções que foram utilizadas no estudo e suas localizações. A Figura 16 e a Tabela 1 apresentam as dimensões de cada um dos tipos.

Figura 15 – Tipos de seções utilizadas no estudo.



Fonte: Autora.

Figura 16 – Seções Tipo.



Fonte: Autora.

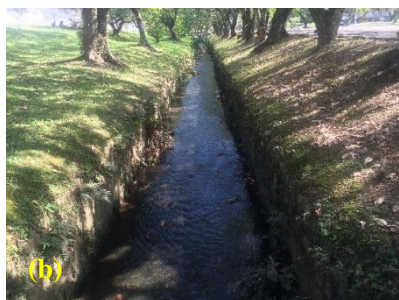
Tabela 1 – Dimensões das seções Tipo.

Seção	A (m)	B (m)
Tipo 1	1,5	2,56
Tipo 2	1,0	1,50
Tipo 3	1,2	2,06
Tipo 4	2,0	4,00
Tipo 5	1,8	6,16

Fonte: adaptado PRAD.

A Figura 17 apresenta os diferentes tipos de seções fotografadas no dia 12 de maio de 2018 e, a Figura 18 mostra o local onde ocorre a junção entre dois tipos de seções, a do Rio Carvoeira com a do Rio do Meio.

Figura 17 – Foto das Seções Tipo dos Rios: (a) Tipo 1, (b) Tipo 2, (c) Tipo 3, (d) Tipo 4, (e) Tipo 5.





Fonte: Autora.

Figura 18 – Foto do encontro dos Rios Carvoeira e do Meio – Vista de Jusante.



Fonte: Autora.

O Modelo Digital de Elevação foi obtido a partir de aerofotogrametria com imagens de voos realizados entre 2010 e 2011. Após o levantamento, os autores realizam um pós-processamento de imagem, removendo construções e vegetações que cobrem o terreno. Assim, é disponibilizado o MDT, que já possui esse ajuste de feições do terreno (ENGEMAP, 2012).

As características geométricas das margens dos canais foram extraídas do MDT disponibilizado pela SDS, com resolução espacial de 1 metro, e coordenadas UTM (22 S), sistema de referência SIRGAS 2000, e *datum* vertical relativo ao marégrafo de Imbituba-SC (ENGEMAP, 2012).

A interface que existe entre os dados de campo e o modelo de análise hidráulica é feita pelo SIG, juntamente com o MDT. SIG e MDT são usados como uma ferramenta de entrada de dados e para ilustrar os resultados (MARK et al., 2004).

Após a compilação dos dados gerados pelo PRAD, foi feita a junção das informações de seções do MDT, gerados no HEC-GeoRAS, com as seções tipo do canal construído.

A escala do MDT é de 1:10.000, o que pode implicar em erros nos dados de elevação. Algumas das seções levantadas pelo PRAD possuíam dados de cota de fundo em suas Estações Hidrossedimentológicas. Foi percebido que o erro entre a cota de fundo do canal levantado em campo e o MDT da SDS varia de 2 a 3 metros.

Para fins de simplificação, optou-se por não analisar as cotas de fundo do canal pois isso implicaria na modificação do MDT podendo gerar erros ainda maiores e tornar o modelo mais distante da realidade. Adotou-se que o erro se propaga por toda a área fazendo com que o modelo ainda possua confiabilidade para a simulação e gere as áreas de inundação de maneira coerente.

4.5. COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING

O coeficiente de rugosidade é um parâmetro importante para ajuste do modelo hidráulico e, é utilizado para calcular a capacidade de escoamento no canal e a velocidade nas seções.

O fator associado à rugosidade mais utilizado em problemas práticos envolvendo escoamentos em conduto livre é o coeficiente de Manning. Este valor pode ser afetado por diversos elementos como: irregularidades e alinhamento do canal, deposição de sedimentos, presença de obstruções, vegetação, variação de temperatura, etc.. Determinar o coeficiente de Manning implica em estimar a resistência ao escoamento no canal e, por não ser um método exato, pode se tornar uma tarefa complicada (CHOW, 1959).

No entanto, para estreitar os intervalos nos quais o coeficiente de Manning pode se encontrar, foram criados procedimentos destinados à estimativa aproximada do valor. Nesse estudo, foi feita a estimativa através de tabelas, buscando características do local.

A Tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes de Manning correspondentes para a área de estudo, com canais construídos e margens caracterizadas como pasto.

Tabela 2 – Coeficientes de Rugosidade de Manning.

Escoamento Uniforme			
Descrição	Mínimo	Normal	Máximo
Canais construídos- Fundo de concreto - Laterais em pedra e argamassa	0,02	0,025	0,035
Área de inundação - Pasto, Grama alta	0,03	0,035	0,06

Fonte: adaptado CHOW (1959).

No entanto, os valores da Tabela 2 foram utilizados apenas como ponto de partida, uma vez que o modelo passou por ajustes de calibração. Adotou-se inicialmente o valor de 0,025 para o leito do canal e 0,05 para as margens do mesmo.

A calibração de um modelo visa minimizar a diferença entre os dados que foram observados e os resultados das simulações, através do ajuste dos parâmetros implícitos do modelo (MARK et al., 2004).

No estudo, o parâmetro calibrado foi o coeficiente de rugosidade de Manning, por ter grande influência em representações no meio urbano. A calibração pode ser dita como a etapa que busca adequar os parâmetros para que os resultados das simulações condigam com a realidade.

Assim, atribuiu-se valores do coeficiente de Manning ajustados para cada vazão simulada, de modo a caracterizar a variação da rugosidade com o nível d'água. A única seção do modelo que possuía dados de vazão e nível medidos era a seção mais próxima ao exutório, sendo possível calibrar só naquele ponto, limitando o modelo.

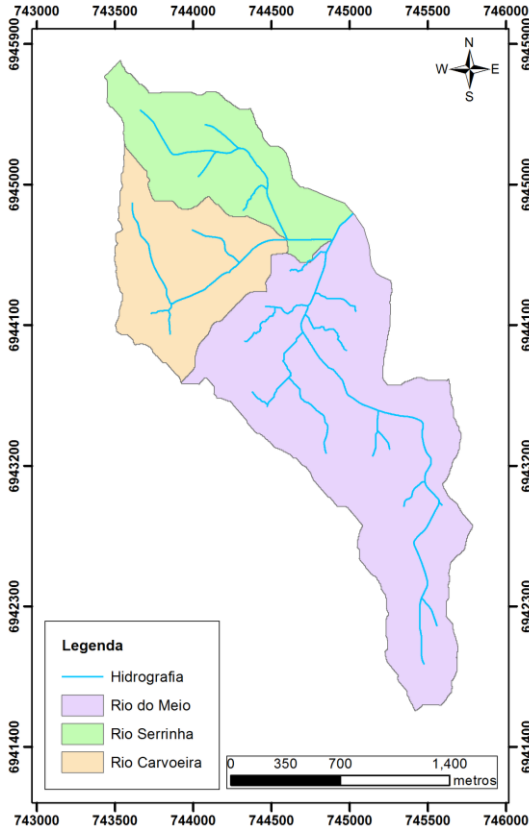
4.6. VAZÕES UTILIZADAS

Para a simulação dos cenários é necessário inserir os valores das vazões dos eventos. As vazões utilizadas foram obtidas através do PRAD, que possui dados de vazão da seção mais próxima ao exutório da bacia, onde há uma estação hidrossedimentológica. A medição de nível d'água no local é feita através de um aparelho que mede o nível por pressão da coluna d'água. As vazões são obtidas através de uma curva-chave que corresponde ao exutório da bacia.

Os demais canais não possuem dados de vazão, logo, foi necessária uma simplificação para a modelagem, onde, dividiu-se entre os canais a vazão que chega no exutório da bacia de acordo com suas áreas de drenagem. Nos locais em que ocorre a junção de dois canais, as áreas foram somadas e, conseqüentemente, as vazões também.

A Figura 19 apresenta a divisão das áreas de contribuição para cada um dos canais a serem simulados, e a Tabela 3 apresenta a porcentagem de área correspondente a cada ottobacia.

Figura 19 – Divisão das áreas de contribuição de cada canal.



Fonte: Autora.

Tabela 3 – Área contribuinte de cada ottobacia.

Ottobacia	Área (%)
Rio do Meio	59,75
Rio Serrinha	20,75
Rio Carvoeira	19,50

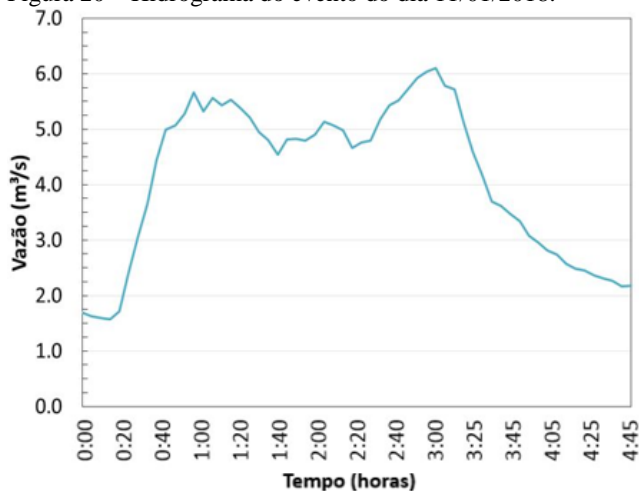
Fonte: Autora.

Utilizou-se, para o estudo, dados de precipitação obtidos através do PRAD. Estes dados, correspondem ao pluviógrafo localizado ao lado da Biblioteca Universitária da UFSC.

As vazões simuladas correspondem a dois eventos. Em um deles o nível d'água não ultrapassou a calha na seção do exutório e, no outro, o canal extravasou na seção do exutório.

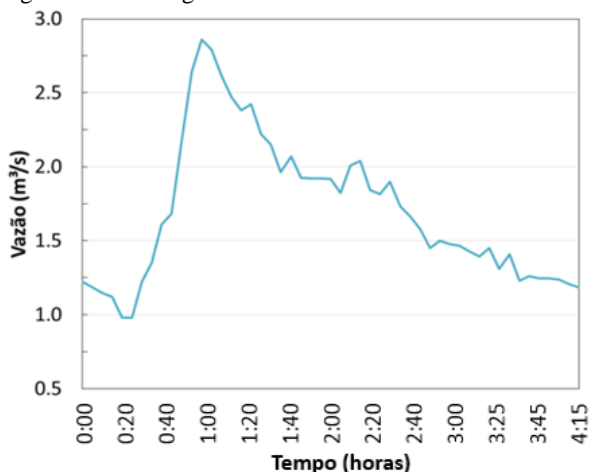
As chuvas ocorreram em janeiro de 2018, sendo selecionados os eventos do dia 11/01/2018, com vazão de pico de $6,10 \text{ m}^3/\text{s}$ e precipitação de 141 mm, e do dia 17/01/2018, com vazão de pico de $2,86 \text{ m}^3/\text{s}$ e precipitação de 29,84 mm. O tempo de duração de cada evento foi de 285 minutos para a chuva do dia 11 de janeiro e de 255 minutos para a do dia 17 de janeiro. A Figura 20 e a Figura 21 apresentam os hidrogramas dos eventos simulados.

Figura 20 – Hidrograma do evento do dia 11/01/2018.



Fonte: Autora.

Figura 21 – Hidrograma do evento do dia 17/01/2018.



Fonte: Autora.

Foi utilizado regime permanente de escoamento para as simulações e, as condições de contorno utilizadas, foram: a declividade de fundo do canal de 0,001 m/m, como condição de jusante, e, profundidade crítica como condição de montante. A condição de contorno por profundidade crítica se dá quando não se possuem informações do trecho, logo, o programa calcula automaticamente o ponto crítico para cada um dos perfis e usa isso como condição limite. Como os trechos a montante dos canais simulados possuem particularidades e poucas informações optou-se por essa condição de contorno.

Após os dados de vazão serem inseridos no *software* HEC-RAS, para cada período de retorno, foi possível realizar a simulação, na qual os perfis d'água são obtidos pelo Método do Passo Padrão (*Standard Step Method*). Esse método soluciona a equação da energia unidimensional, com termo de perda de carga contínua, calculado utilizando-se a equação de Manning e, a determinação dos níveis d'água nas seções é feito por processos iterativos entre essas equações.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CALIBRAÇÃO DO MODELO

Primeiramente simulou-se o modelo com o coeficiente de rugosidade inicial, conforme descrito no Item 4.5: 0,025 para o canal construído e 0,05 para as margens, compostas por gramas. Após a simulação, obteve-se uma diferença de 0,11 m para vazões que não extravasam o canal na seção do exutório e, diferença de 1 metro para as vazões que extravasam. Ambas as diferenças para menos do valor esperado, mostrando a necessidade de aumentar o valor de rugosidade do canal.

Em seguida, o valor de coeficiente de Manning foi sendo ajustado para coincidir com os dados medidos de altura da coluna d'água da seção. Depois de algumas iterações, o valor que melhor se ajustou para as vazões dentro do canal foi de 0,032 e, para as margens, permaneceu o valor de 0,05. A rugosidade das margens não interferiu de maneira significativa pois a velocidade da água nessas áreas tende a ser muito menor do que no centro do canal, por exemplo.

Após a calibração do modelo, a diferença de nível para vazões dentro do canal com os medidos em campo foi de 0,03 metros e, o nível para eventos que ultrapassam as margens do canal, foi de 0,80 metros. Essa diferença significativa no nível em pequenas áreas de estudo pode se dar devido a uma série de fatores que foram observados no estudo: a topografia das margens não ter uma boa precisão, algum erro de correspondência entre nível medido e vazão d'água passante ou a influência da maré para vazões maiores.

Logo, observou-se que essa calibração não era efetiva para vazões que ultrapassavam a altura das margens do canal na seção do exutório (1,80 metros). Tentou-se forçar uma calibração para esses casos, no entanto, os coeficientes de Manning extrapolava de maneira absurda qualquer possível condição realística do canal.

Como os valores de nível d'água na seção são confiáveis por seu método de medição (pressão de coluna d'água), acredita-se que o erro possa estar relacionado a vazão passante, uma vez que, a curva-chave pode não representar de maneira coerente a vazão que escoava fora da calha, por não ter dimensão uniforme. Assim, provavelmente, temos uma subestimação da vazão do canal, dificultando, inclusive, a definição com maior precisão do coeficiente de rugosidade para as margens do canal.

Ao simular vazões baixas, em que o nível de água atingido foi menor que 0,80 metros, o coeficiente de rugosidade também não

correspondeu de forma adequada a realidade. Estas vazões não costumam gerar problemas de inundação e nem ser objeto de estudo ou utilizadas para projetos de drenagem. Porém, vazões baixas podem ser úteis para calibrar o fundo do canal e, conforme o nível d'água aumenta, é possível calibrar, também, as paredes da calha de escoamento.

Então, o valor final correspondente à calibração do coeficiente de Manning para os canais da Bacia do Rio do Meio, com fundo de concreto e paredes de pedra argamassada foi de 0,032. Como observado anteriormente, na Tabela 2, o valor máximo para esse tipo de canal é de 0,035, correspondendo a canais em condições ruins. A calibração resultando num valor próximo ao máximo se deve a algumas modificações que possam ter ocorrido no canal com o passar dos anos e materiais que possam estar depositados ao longo de seu curso, interferindo no escoamento.

A Figura 22 apresenta algumas fotografias de possíveis interferências no coeficiente de Manning ao longo do canal.

Figura 22 – Materiais presentes no fundo dos canais.



Fonte: Autora.

Observou-se que, áreas próximas as cabeceiras dos canais simulados possuem maior quantidade de material depositado no fundo e,

também, menor manutenção, deixando que a vegetação tome conta da calha em alguns trechos. Já para áreas próximas ao exutório, percebe-se um cuidado maior, com menos vegetação e menos materiais que possam interferir no escoamento. Logo, essa manutenção mais frequentemente ocorre em áreas mais propícias a inundações na bacia.

O fato dessa manutenção ser feita em menores períodos de tempo nas seções com maior vazão, fez com que o coeficiente de rugosidade não fosse muito influenciado, necessitando apenas de um ajuste de 0,003 do valor máximo esperado.

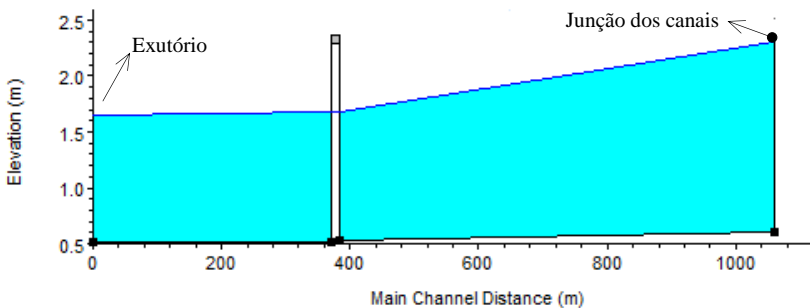
5.2. NÍVEIS DE INUNDAÇÃO

Definir as manchas de inundação de uma região é de extrema importância para o planejamento de ocupação de uma área e, também, para criação de planos de ação de emergência, estudos ambientais, para empresas de seguro contra inundações e etc..

Como o mapa de inundação para o maior período de retorno, que extravasa a calha do canal, não corresponderia ao evento, optou-se por fixar o nível da água atingido pela vazão e simular novamente o evento.

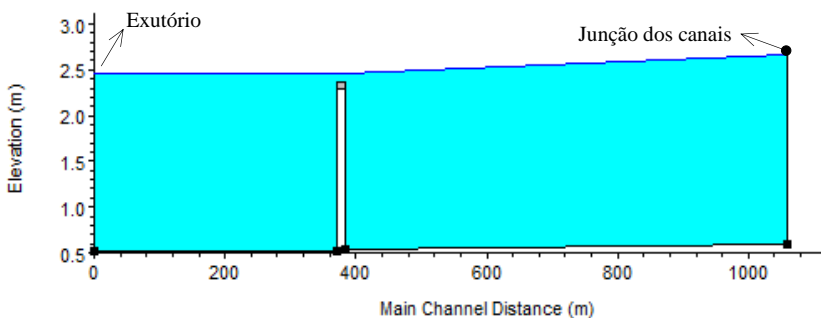
O nível d'água fixado para a vazão de $6,10 \text{ m}^3/\text{s}$ na seção do exutório da bacia foi de 2,45 metros, conforme medições locais. Assim, foram obtidas outras alturas de água nas seções próximas ao exutório da bacia. A Figura 23 apresenta os níveis d'água nas seções, após a junção entre os rios do Meio e Carvoeira, na simulação normal. A Figura 24 mostra as mesmas seções, porém, com o nível fixado. Observa-se a ponte representada.

Figura 23 – Níveis d'água próximo ao exutório com calibração.



Fonte: Autora.

Figura 24 – Níveis d'água próximo ao exutório com cota fixada.



Fonte: Autora.

Analisando os resultados da nova simulação, obteve-se uma diferença de apenas 0,30 metros na seção mais a montante do trecho apresentado nas figuras acima e, essa diferença se anula após a bifurcação dos canais. Isso se deve a fixação de nível apenas na seção mais a jusante, fazendo com que as outras acompanhem a interpolação dos níveis utilizando como base a vazão de $6,10 \text{ m}^3/\text{s}$, considerada baixa para o nível atingido.

A fixação de nível na seção não alterou o nível dos canais antes da junção entre o Rio do Meio e o Rio Carvoeira, não alterando a mancha de inundação dessas áreas.

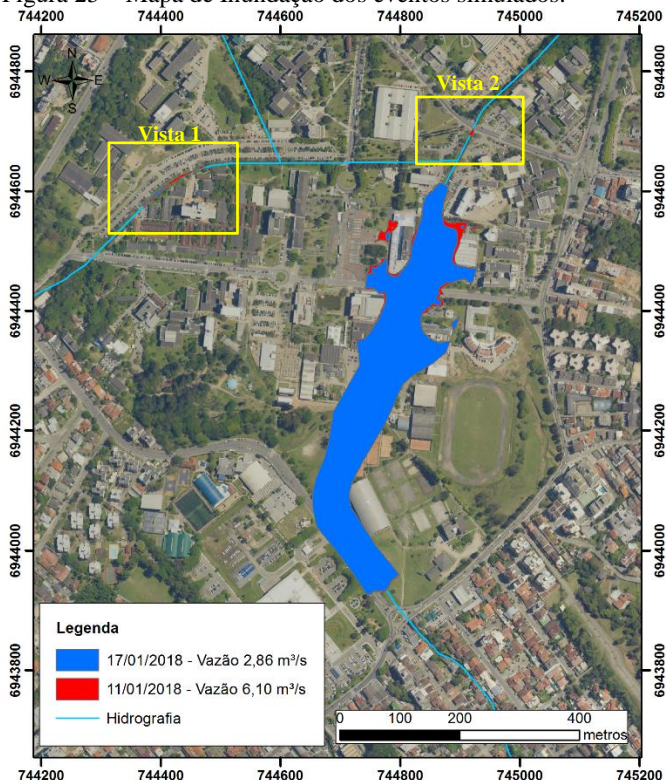
5.3. MAPA DE INUNDAÇÃO

Após as simulações, o pós-processamento de dados obtidos no HEC-RAS foi feito em sua extensão no ArcGIS, o HEC-GeoRAS, que auxilia no desenvolvimento de mapas de inundação. Esse processamento ocorre gerando arquivos em formato de polígonos que definem as extensões de inundação de um dado evento.

O software ArcGIS, ainda permite que se faça uma comparação entre as áreas de inundação, possibilitando a sobreposição dos polígonos da planície de inundação no mesmo plano de fundo de imagem.

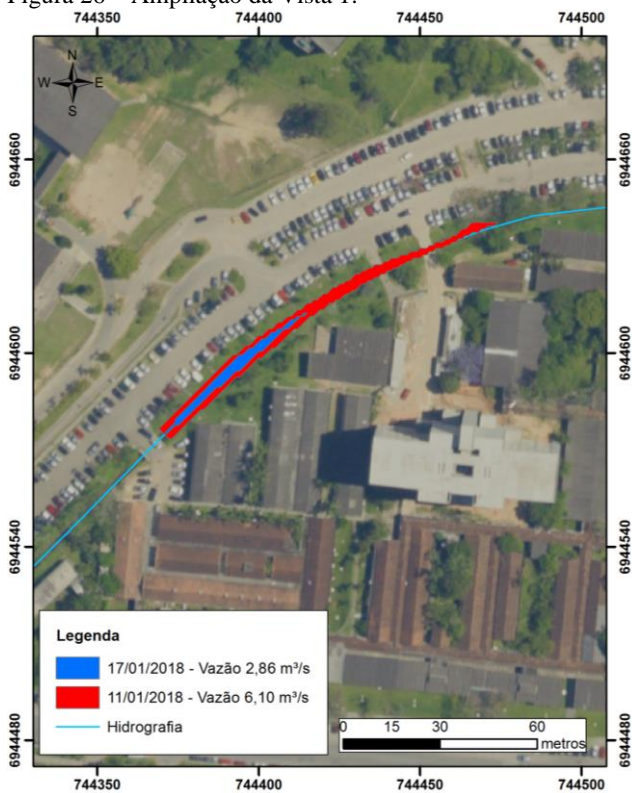
O mapa de inundação obtido para os eventos dos dias 11 e 17 de janeiro de 2018 é apresentado na Figura 25 e, a Figura 26 e a Figura 27 mostram ampliações de suas vistas.

Figura 25 – Mapa de Inundação dos eventos simulados.



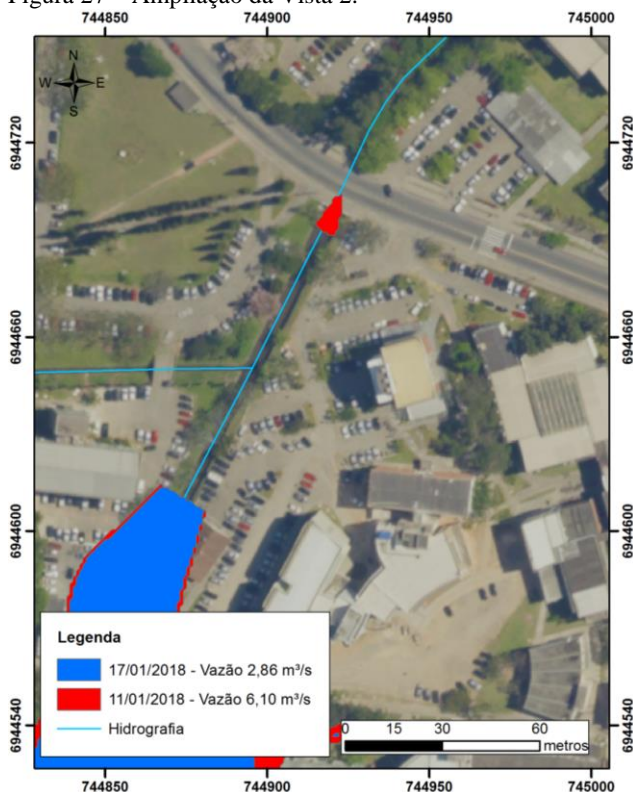
Fonte: Autora.

Figura 26 – Ampliação da Vista 1.



Fonte: Autora.

Figura 27 – Ampliação da Vista 2.



Fonte: Autora.

Analisando o mapa gerado percebe-se que não há coerência entre essas áreas inundadas e a realidade. A mancha de inundação do Rio do Meio possui uma extensão desproporcional aos eventos simulados e, ainda, a área inundada corresponde à cabeceira do trecho modelado, não inundando regiões próximas ao exutório, que seriam mais propícias a inundações. Observando o polígono gerado, nota-se que ele possui formato geométrico bem definido em algumas regiões, o que está relacionado a erros do MDT, provavelmente ocorridos no processamento digital de elevações, pela SDS, para suavizar imperfeições causadas por vegetação e edifícios.

A Figura 26 apresenta um trecho de inundação do Rio Carvoeira, próximo ao estacionamento, onde, em eventos de chuva intensa ocorre

inundação. No entanto, a mancha não permanece mais a jusante do canal, notando-se imprecisão dos dados topográficos.

Ainda, a Figura 27, mostra uma área de inundação na ponte sobre a Rua Delfino Conti, para a maior vazão simulada. Porém, os níveis calculados gerariam uma mancha de inundação também no trecho a jusante da ponte, não correspondendo ao mapa. Isso se deve à qualidade das curvas de nível, que fazem com que as margens do canal, utilizadas na modelagem, apresentem-se muito íngremes e, quando a água extravasa o canal, ela não consegue alagar as margens, pois fica presa em uma espécie de “calha” do próprio terreno.

As margens do canal utilizadas na modelagem não correspondem à realidade do local, interferindo no mapa de inundação, uma vez que, impede que a água se expanda nas margens em determinadas seções, causando uma espécie de contração no modelo e, alagando as áreas mais próximas da montante do canal.

As constatações aqui apresentadas estão de acordo com outros estudos, como o de Santos (2009), que analisou metodologias utilizadas na definição de áreas de inundação. O local de estudo foi a bacia hidrográfica do Rio Arunca, afluente do Rio Mondego, localizado na região central de Portugal. Após a modelagem no *software* HEC-RAS, percebeu-se que a precisão da topografia utilizada construiu um fator crítico para a aplicação desse método. O autor sugere que se utilize cartografia de escala inferior a 1:10.000 e mais atualizada possível. Ainda, verificou-se que, diferenças centimétricas nas cotas de terreno podem resultar em diferenças significativas na extensão de áreas inundáveis.

Monte et al. (2016) também assinalou em seu estudo, sobre modelagem hidráulica e hidrológica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis, a necessidade de uso de um MDT mais detalhado para geração de suas planícies de inundação.

A não diferença entre os mapas de inundação do dia 11 de janeiro, para a simulação com calibração normal e a simulação com nível fixado, se deve justamente a isso: as margens próximas ao exutório são tão íngremes que não gerou uma planície de inundação, fazendo com que a água permanecesse dentro calha gerada pelo terreno. Desta forma, aumentando o volume de água, mas não a mancha de inundação.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo aplicar e analisar a influência da qualidade dos dados de entrada no modelo matemático HEC-RAS, para o mapeamento de áreas de inundação, no campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina.

Partindo dos resultados gerados, podemos perceber a falta de dados confiáveis para modelagem de áreas de inundação. O dado com maior erro e que mais influenciou na mancha de inundação, foi a topografia do terreno.

O MDT disponibilizado pela SDS é considerado de ótima qualidade a nível estadual, entre os melhores do país, possuindo erros aceitáveis e que não influenciam para a maioria dos projetos. No entanto, para estudos onde os níveis variam na escala de centímetros essa topografia é pouco precisa, influenciando no escoamento e gerando planícies que não correspondem à realidade, uma vez que, as margens são de extrema importância para a geração de manchas de inundação.

Outra recomendação importante é que seja realizado o levantamento topobatemétrico do fundo do canal, assim, seria possível definir a declividade entre as seções, observar pontos mais críticos e fazer a modelagem correspondendo ao cenário do local.

O levantamento e inserção de todas as pontes presentes nos trechos de canais simulados no modelo, também ajudaria a caracterizar melhor área e definir a influência das mesmas para eventos de tempos de retorno altos.

Com relação às vazões obtidas através da curva chave, para a seção do exutório da bacia, os dados não satisfazem o esperado entre o nível medido e a vazão passante quando extravasa a calha, uma vez que, esta foi extrapolada considerando a seção uniforme também para as margens do canal. Para esse caso, seria interessante que os dados primários de obtenção da curva chave fossem refeitos em eventos de chuvas intensas com extravasamento da calha.

Em eventos extremos, deve-se fazer medições do nível, da cota e coordenada atingida pela água e, medição da vazão passante naquele momento. Quanto mais eventos forem caracterizados, menor o erro e melhor a caracterização da região. Com esses dados, a modelagem se torna mais fácil e precisa, podendo simular eventos da bacia de maneira próxima a realidade.

Essas campanhas de medição de vazão em campo podem ser feitas nas estações hidrossedimentológicas que já existem nos canais, utilizando-se, assim, o histórico de dados já existente. Para ajuste das

curvas chave, as medições de vazão devem ser feitas, também, em eventos de menor intensidade, para caracterizar melhor as seções.

Uma limitação do modelo foi a calibração apenas na seção do exutório da bacia. Seria necessário dados de nível e vazão dos canais em outros pontos, para que cada trecho possa ser calibrado da melhor maneira, inclusive variando o coeficiente de rugosidade longitudinalmente nos trechos que possuem maior quantidade de material no fundo da calha.

A metodologia aplicada nesse estudo é comum para vários projetos relacionados ao tema. O mapa de inundação resultante não condizente com a realidade apenas comprova a falta de precisão nos dados.

O MDT da região poderia ter sido alterado manualmente para atender às expectativas de manchas de inundação. No entanto, a manipulação de dados não seria interessante para um trabalho científico que busca exatamente analisar a qualidade dos mesmos.

Pelo fato de a área de estudo ser pequena e as informações serem escassas, qualquer pequena alteração gera mudanças expressivas, sendo necessário dados confiáveis para adoção dos parâmetros, caso contrário pode-se estar apenas camuflando o cenário real.

Este trabalho serviu para criar diretrizes para futuros estudos sobre inundações na Bacia do Rio do Meio, avaliando os dados disponíveis e comprovando a falta de informações necessárias para projetos de drenagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, Maria Eduarda Fagundes de. **Análise da Relação Chuva-Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio do Meio utilizando o HEC-HMS**. 2017. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2017.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do MERCOSUL**. Curitiba: Imprensa Oficial. 2004.
- BOTELHO, R.G.M. **Bacias Hidrográficas Urbanas**. In: GUERRA, A. J. T (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2011.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005.
- CEPED – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC: 2013. 168 p.
- CHAVES, J. M.; FRANCA ROCHA, W. de J. S. da. (Org.) **Geotecnologias: Trilhando Novos Caminhos nas Geociências**. Salvador: SBG. 2006.
- COWAN, W. L. **Estimating Hydraulic Roughness Coefficients**. Agriculture Engineering v. 37 (7). 1956. p. 473-475.
- CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. Reimpressão da edição de 1959. Caldwell, NJ. 1959.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA; Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: 1979. 83 p.
- ENGEMAP Geoinformação. Relatório de produção final - edital de concorrência pública nº 0010/2009. Florianópolis SC: 2012. 218p.

EXCIMAP. **Handbook on Good Practices for Flood Mapping in Europe**. Bruxelas (Bélgica): European Exchange Circle on Flood Mapping. 2007.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, José; FEITOSA, Edilton Carneiro. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Sao Paulo: Cprm - Serviço Geológico do Brasil. 2008. 812 p.

FINDLAY, S.J.; TAYLOR, M.P. Why rehabilitate urban river systems? **Area**. v. 38.3. 2006. p. 312-325.

FLORIANÓPOLIS. IPUF. **Atlas do município de Florianópolis**. Coordenação de Maria das Dores de Almeida Bastos. Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis: 2004. 166p.

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Plano municipal integrado de saneamento básico**: produto 6: Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Florianópolis: PMF. 2009. 117 p.

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA, Masato. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 15 novembro de 2017.

HERRMANN, Maria Lúcia de Paula et al (Org.). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC. 2005. 146 p.

IGBP. **Biosphere Aspects of the Hydrological Cycle**. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, Report n.27. Estocolmo. 1993.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas de Florianópolis, SC**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: abril 2018.

LERNER, D.N., ISSAR, A.S. & SIMMERS, I. **Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge**.

International Contributions to Hydrogeology, Vol. 8. International Association of Hydrogeologists, Verlag Heinz Heise. 1990.

MARK, O., WEESAKUL, S., APIRUMANEKUL, C., ARRONNET, S. B., DJORDJEVIC, S. **Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding**. Journal of Hydrology. 2004. p. 284- 299.

MERZ, B.;THIEKEN, A.H.; GOCHT, M. **Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges**. 2007.

MONTE, Benício et al. Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.152-167, 25 fev. 2016. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p152-167>.

MULUNGO, Hermínio Elias. **Estudo de Inundação na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis-SC**. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2012.

NERILO, N; MEDEIROS, P. A; CORDERO, A. **Chuvas Intensas no Estado de Santa Catarina**. 1ª edição. Florianópolis, SC. Editora da UFSC. 2002.

OLIVEIRA, Fernanda Almeida de et al. Determinação do limite da faixa de inundação com uso do hec-ras para o parque linear do Córrego Macambira em Goiânia, Goiás (doi: 10.5216/reec.V11i1.32101). **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.56-66, 1 fev. 2016. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v11i1.32101>.

PASQUALE, N., PERONA, P., WOMBACHER, A., BURLANDO, P. **Hydrodynamic model calibration from pattern recognition of non orthorectified terrestrial photographs**. Computers & Geosciences. 2013.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher. 1976.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 2003. 540 p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1. ed. São Carlos: Publicações EESC-USP, v. 1. 819p. 1998.

SANTOS, Pedro Manuel Pinto dos. **Cartografia de Áreas Inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico**: Estudo comparativo na bacia hidrográfica do Rio Arunca. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009.

SDS/SC – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina. **Sistema de Informações Geográficas**. Disponível em: <<http://sigsc.sc.gov.br/>>. Acesso em: abril de 2018.

SILVA, Paulo Vitor Ribeiro Marques da; PECLY, José Otávio Goulart; AZEVEDO, José Paulo Soares de. **Uso de traçadores fluorescentes para determinar características de transporte e dispersão no Rio Piabanha (RJ) para a modelagem quali-quantitativa pelo HEC-RAS**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 22, n. 3, p.463-472, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017150187>.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 428 p. 1995. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2014. 943 p.

TUCCI, C. E. M., BERTONI J.C. (Org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Integrated Urban Flood Management**. Cap-Net/UNPD & WMO. 2011.

USACE (US Army Corps of Engineers). HEC-RAS. Hydrologic Engineering Center's – **River Analysis System. User's Manual**. Davis, CA, US. 2010.

USACE (US Army Corps of Engineers). **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual**. 5. ed. Davis, Ca. 446 p. 2016.
VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw-hill. 1975. 239 p.

XIONG, Yi. **A Dam Break Analysis Using HEC-RAS**. Journal Of Water Resource And Protection, [s.l.], v. 03, n. 06, p.370-379, 2011. Scientific Research Publishing, Inc.,
<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2011.36047>.

ZIN, Win Win; KAWASAKI, Akiyuki; WIN, Shelly. River flood inundation mapping in the Bago River Basin, Myanmar. **Hydrological Research Letters**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.97-102, 2015. Japan Society of Hydrology and Water Resources. <http://dx.doi.org/10.3178/hrl.9.97>.